

## Lista de exercícios – Caps. 7 e 8

### TMEC-030 Transferência de Calor e Massa – Período especial 2017/2

1. (Incropera et al., 6 ed., 7.2) Óleo de motor a  $100^{\circ}\text{C}$  e a uma velocidade de  $0,1\text{ m/s}$  escoam sobre as duas superfícies de uma placa plana com  $1\text{ m}$  de comprimento mantida a  $20^{\circ}\text{C}$ . Determine:

a) As espessuras das camadas-limite de velocidade e térmica na aresta de saída da placa. Resp:  $0,147\text{ m}$ ;  $0,0143\text{ m}$ .

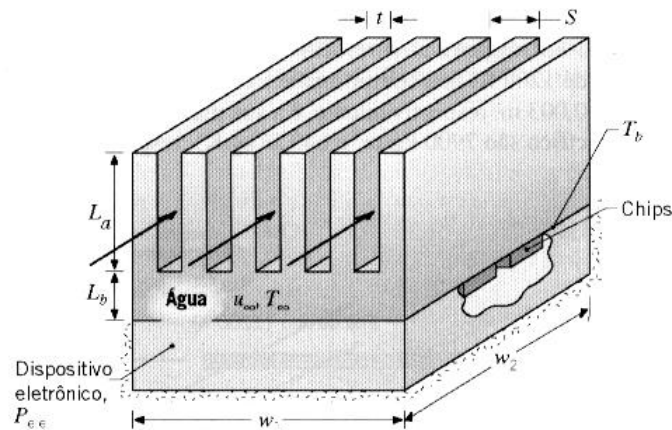
b) O fluxo térmico total e a tensão de cisalhamento local na superfície na aresta de saída da placa. Resp:  $-1300\text{ W/m}^2$ ;  $0,0842\text{ N/m}^2$

c) A força de arrasto e a taxa de transferência de calor totais, por unidade de largura da placa. Resp:  $0,337\text{ N/m}$ ;  $-5200\text{ W/m}$ .

2. (Incropera et al., 6 ed., 7.10) Considere ar atmosférico a  $25^{\circ}\text{C}$  e a uma velocidade de  $25\text{ m/s}$  escoando sobre as duas superfícies de uma placa plana com  $1\text{ m}$  de comprimento, mantida a  $125^{\circ}\text{C}$ . Determine a taxa de transferência de calor saindo da placa, por unidade de largura, para valores do número de Reynolds crítico de  $10^5$ ,  $5 \times 10^5$  e  $10^6$ . Resp:  $13.600\text{ W/m}$ ;  $9780\text{ W/m}$ ;  $5530\text{ W/m}$ .

3. (Incropera et al., 6 ed., 7.16) Considere uma aleta retangular que é usada para resfriar o motor de uma motocicleta. A aleta possui  $0,15\text{ m}$  de comprimento e está a uma temperatura de  $250^{\circ}\text{C}$ , quando a motocicleta desloca-se a uma velocidade de  $80\text{ km/h}$  em ar a  $27^{\circ}\text{C}$ . O ar encontra-se em escoamento paralelo às superfícies da aleta e condições de escoamento turbulento podem ser admitidas ao longo de toda a superfície. Qual é a taxa de remoção de calor por unidade de largura da aleta? Resp:  $5830\text{ W/m}$ .

4. (Incropera et al., 6 ed., 7.29) Uma série de *chips* eletrônicos é montada no interior de um recipiente retangular fechado e o resfriamento é implementado pela fixação de um dissipador de calor de alumínio ( $k = 180\text{ W/mK}$ ). A base do dissipador tem dimensões de  $w_1 = w_2 = 100\text{ mm}$ , enquanto as 6 aletas têm espessura  $t = 10\text{ mm}$  e passo  $S = 18\text{ mm}$ . O comprimento das aletas é de  $L_a = 50\text{ mm}$  e a base do dissipador de calor tem uma espessura de  $L_b = 10\text{ mm}$ . Se o resfriamento é promovido pelo escoamento de água através do dissipador de calor com  $u_{\infty} = 3\text{ m/s}$  e  $T_{\infty} = 17^{\circ}\text{C}$ , qual é a temperatura da base do dissipador  $T_b$  quando a potência dissipada pelos *chips* for de  $P_{ele} = 1800\text{ W}$ ? O coeficiente convectivo médio nas superfícies das aletas e na base exposta pode ser determinado supondo escoamento paralelo sobre uma placa plana. As propriedades da água podem ser aproximadas por  $k = 0,62\text{ W/mK}$ ,  $\nu = 7,73 \times 10^{-7}\text{ m}^2/\text{s}$  e  $\text{Pr} = 5,2$ . Resp:  $46,2^{\circ}\text{C}$ .



5. (Incropera et al., 6 ed., 7.42) Um tubo circular, com diâmetro externo de 25 mm, é colocado em uma corrente de ar a 25°C e 1 atm de pressão. O ar está em escoamento cruzado em relação ao tubo com uma velocidade de 15 m/s, enquanto a superfície externa do tubo é mantida a 100°C. Qual é a força de arrasto exercida no tubo por unidade de comprimento? Qual é a taxa de transferência de calor saindo do tubo por unidade de comprimento? Resp: 3,24 N/m; 520 W/m

6. (Incropera et al., 6 ed., 7.54) Para aumentar a transferência de calor entre dois fluidos escoando é proposta a inserção de uma aleta piniforme de alumínio 2024, com 10 mm de comprimento e 5 mm de diâmetro, através da parede que separa os dois fluidos. O pino é inserido até uma profundidade  $d$  no fluido 1. O fluido 1 é ar com uma temperatura média de 10°C e velocidade aproximadamente uniforme de 10 m/s. O fluido 2 é ar com uma temperatura média de 40°C e velocidade média de 3 m/s. Determine a taxa de transferência de calor do ar quente para o ar frio através do pino para  $d = 50$  mm. Resp: 0,924 W

7. (Incropera et al., 6 ed., 7.66) Ar a 25°C escoa sobre uma esfera, com 10 mm de diâmetro, com uma velocidade de 25 m/s, enquanto a superfície da esfera é mantida a 75°C.

a) Qual é a força de arrasto na esfera? Resp: 0,011 N.

b) Qual é a taxa de transferência de calor saindo da esfera? Resp: 3,14 W.

8. (Incropera et al., 6 ed., 7.70) Um recipiente esférico de instrumentos para medições submarinas, usado para sondagens e para medir condições da água, tem um diâmetro de 85 mm e dissipa 300 W.

a) Determine a temperatura superficial do recipiente quando suspenso em uma baía na qual a corrente é de 1 m/s e a temperatura da água é de 15°C. Resp: 18,8°C.

b) Inadvertidamente, o recipiente é retirado da água e suspenso no ar sem desativar a potência. Determine a temperatura superficial do recipiente com o ar a 15°C e uma velocidade do vento de 3 m/s. Resp: 672°C.

9. (Incropera et al., 6 ed., 7.84) Um preaquecedor utiliza vapor de água saturado a 100°C, alimentado pelo lado interno dos tubos de uma matriz, para aquecer ar que entra no sistema a 1 atm e 25°C. O ar escoa em escoamento cruzado no lado externo dos tubos a 5 m/s. Cada

tubo possui 1 m de comprimento e 10 mm de diâmetro externo. A matriz contém 196 tubos em um arranjo alinhado quadrado, no qual  $S_T = S_L = 15$  mm. Qual é a taxa de transferência de calor total para o ar? Qual é a queda de pressão associada ao escoamento do ar? Resp: 58,5 kW;  $5,9 \times 10^{-3}$  bar.

10. (Incropera et al., 6 ed., 7.88) Uma matriz de tubos possui um arranjo alinhado com tubos de 30 mm de diâmetro e 1 m de comprimento, com  $S_T = S_L = 60$  mm. Existem 10 colunas de tubos na direção do escoamento ( $N_L = 10$ ) e 7 tubos por coluna ( $N_T = 7$ ). Ar com condições a montante da matriz iguais a  $T_\infty = 27^\circ\text{C}$  e  $V = 15$  m/s, escoam em escoamento cruzado sobre os tubos, cujas paredes são mantidas a  $100^\circ\text{C}$  pela condensação de vapor no seu interior. Determine a temperatura do ar ao deixar a matriz tubular, a queda de pressão ao longo da matriz e a potência necessária para o ventilador. Resp:  $39^\circ\text{C}$ ; 0,00993 bar; 6,26 kW.

11. (Incropera et al., 6 ed., 8.4) Um resfriador de óleo de motor possui um feixe de 25 tubos lisos, cada um com comprimento  $L = 2,5$  m e diâmetro  $D = 10$  mm. Se óleo a 300 K e a uma vazão mássica total de 24 kg/s escoam em condições plenamente desenvolvidas pelos tubos, quais são a queda de pressão e a potência de bombeamento requerida? Resp: 53,8 bar; 146 W.

12. (Incropera et al., 6 ed., 8.24) Um preaquecedor de óleo é constituído por um único tubo de 10 mm de diâmetro e 5 m de comprimento, com a sua superfície mantida a  $175^\circ\text{C}$  por gases de combustão. O óleo de motor (novo) entra a  $75^\circ\text{C}$ . Qual vazão deve ser alimentada para manter a temperatura de saída do óleo a  $100^\circ\text{C}$ ? Qual é a taxa de transferência de calor correspondente? Resp: 90 kg/h; 1360 W.

13. (Incropera et al., 6 ed., 8.27) No estágio final de produção, um produto farmacêutico é esterilizado pelo aquecimento de  $25^\circ\text{C}$  a  $75^\circ\text{C}$  à medida que ele se desloca, a 0,2 m/s, através de um tubo reto de aço inoxidável, com parede delgada e diâmetro de 12,7 mm. Um fluxo térmico uniforme é mantido por um aquecedor de resistência elétrica que se encontra enrolado ao redor da superfície externa do tubo. Se o tubo possui 10 m de comprimento, qual é o fluxo térmico requerido? Se o fluido entra no tubo com um perfil de velocidades plenamente desenvolvido e um perfil de temperaturas uniforme, quais são as temperaturas da superfície na saída do tubo e a uma distância de 0,5 m de sua entrada? As propriedades do fluido podem ser aproximadas por  $\rho = 1000$  kg/m<sup>3</sup>,  $c_p = 4000$  J/kgK,  $\mu = 2 \times 10^{-3}$  kg/s·m,  $k = 0,8$  W/mK e  $Pr = 10$ . Resp: 12.680 W/m<sup>2</sup>;  $121^\circ\text{C}$ ;  $52,7^\circ\text{C}$ .

14. (Incropera et al., 6 ed., 8.37) Ar atmosférico entra em um duto de aquecimento não-isolado, que possui 10 m de comprimento e 150 mm de diâmetro, a  $60^\circ\text{C}$  e 0,04 kg/s. A temperatura superficial do duto é aproximadamente constante e igual a  $T_s = 15^\circ\text{C}$ .

a) Quais são a temperatura de saída do ar, a taxa de transferência de calor  $q$  e a queda de pressão  $\Delta p$  para essas condições? Resp:  $29,9^\circ\text{C}$ , -1212 W; 4,03 N/m<sup>2</sup>.

15. (Incropera et al., 6 ed., 8.41) A superfície de um tubo, com parede delgada e 50 mm de diâmetro, é mantida a uma temperatura de  $100^\circ\text{C}$ . Em um caso, ar encontra-se em escoamento cruzado sobre o tubo com uma temperatura de  $25^\circ\text{C}$  e uma velocidade de 30 m/s. Em outro caso, ar encontra-se em escoamento plenamente desenvolvido no interior do tubo com uma

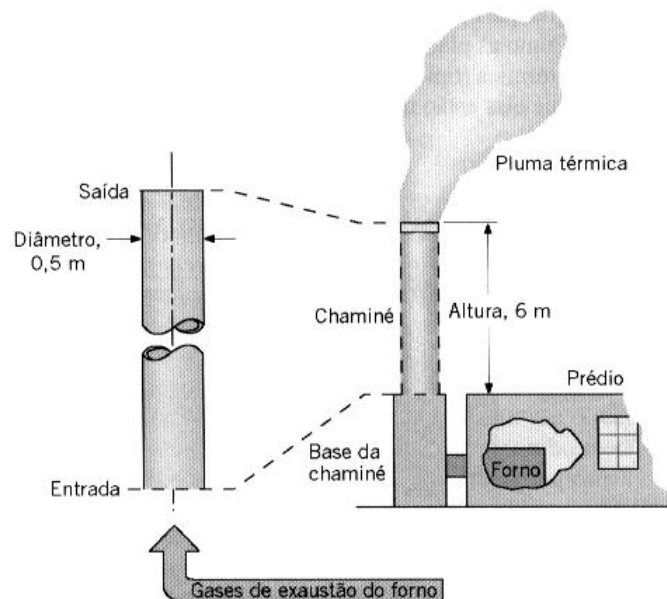
temperatura de 25°C e uma velocidade média de 30 m/s. Compare o fluxo térmico do tubo para o ar nos dois casos. Resp: 7840 W/m<sup>2</sup>; 7040 W/m<sup>2</sup>.

16. (Incropera et al, 6 ed., 8.45) Ar, a 200 kPa, entra em um tubo, de parede delgada, com 25 mm de diâmetro e 2 m de comprimento, a 150°C e 6 m/s. Vapor d'água, a 20 bar, condensa sobre a superfície externa.

a) Determine a temperatura de saída e a queda de pressão no ar, bem como a taxa de transferência de calor para o ar. Resp: 198°C; 71 N/m<sup>2</sup>; 221 W.

b) Calcule os parâmetros da parte (a), se a pressão do ar for dobrada. Resp: 195°C; 119 N/m<sup>2</sup>; 415 W.

17. (Incropera et al., 6 ed., 8.52) Os gases de exaustão de um forno de processamento de fios são descarregados em uma grande chaminé e as temperaturas do gás e da superfície de saída da chaminé devem ser estimadas. O conhecimento da temperatura de saída do gás  $T_{m,sai}$  é útil para estimar a dispersão de efluentes na pluma térmica, enquanto o conhecimento da temperatura da superfície de saída da chaminé  $T_{s,sai}$  indica se irá ocorrer a condensação dos produtos gasosos. A chaminé cilíndrica e com parede delgada possui 0,5 m de diâmetro e 6,0 m de altura. A vazão dos gases de exaustão é de 0,5 kg/s e a temperatura de entrada dos gases é de 600°C. Considere condições nas quais a temperatura do ar ambiente e a velocidade do vento são de 4°C e 5 m/s, respectivamente. Aproximando as propriedades termofísicas do gás por aquelas do ar atmosférico, estime as temperaturas de saída do gás e da superfície da chaminé em sua saída para as condições dadas. Resp: 543°C; 232°C.



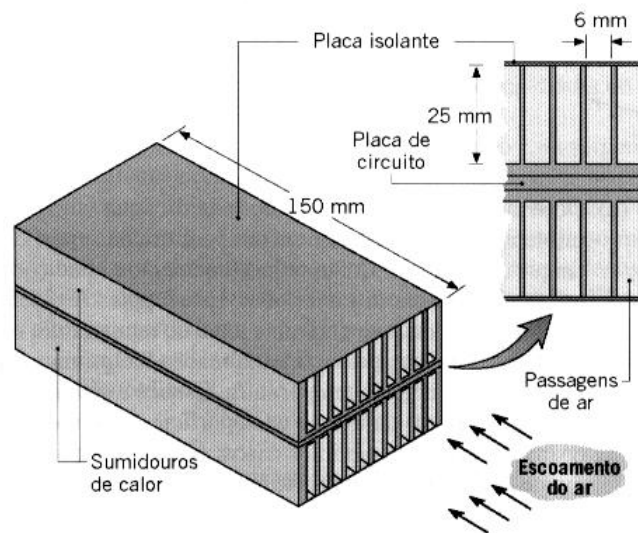
18. (Incropera et al., 6 ed., 8.60) Um tubo de parede delgada, com diâmetro de 6 mm e comprimento de 20 m, é usado para transportar gases de exaustão de uma chaminé até o laboratório, em um prédio próximo, para análise. O gás entra no tubo a 200°C e a uma vazão mássica de 0,003 kg/s. Ventos do outono, a uma temperatura de 15°C, sopram em direção cruzada ao tubo a uma velocidade de 5 m/s. Considere as propriedades termofísicas dos gases de exaustão iguais à do ar.

- a) Estime o coeficiente de transferência de calor médio para os gases de exaustão escoando no interior do tubo. Resp:  $409 \text{ W/m}^2\text{K}$ .
- b) Estime o coeficiente de transferência de calor par ao ar que escoar em escoamento cruzado sobre a superfície externa do tubo. Resp:  $93,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ .
- c) Estime o coeficiente global de transferência de calor  $U$  e a temperatura dos gases de exaustão quando eles chegam ao laboratório. Resp:  $76,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;  $15^\circ\text{C}$ .

19. (Incropera et al., 6 ed., 8.74) Ar, a  $3 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$  e  $27^\circ\text{C}$ , entra em um duto retangular que possui 1 m de comprimento e 4 mm por 16 mm de lado. Um fluxo térmico uniforme de  $600 \text{ W/m}^2$  é imposto na superfície do duto. Qual é a temperatura do ar e da superfície do duto na sua saída? Resp:  $379 \text{ K}$ ;  $406 \text{ K}$ .

20. (Incropera et al., 6 ed., 8.78) Ar, a 1 atm e  $285 \text{ K}$ , entra em um duto retangular com 2 m de comprimento e seção transversal de 75 mm por 150 mm. O duto é mantido a uma temperatura superficial constante de  $400 \text{ K}$  e a vazão mássica do ar é de  $0,10 \text{ kg/s}$ . Determine a taxa de transferência de calor do duto para o ar e a temperatura de saída do ar. Resp:  $2720 \text{ W}$ ;  $312 \text{ K}$ .

21. (Incropera et al., 6 ed., 8.84) Uma placa de circuitos eletrônicos, que dissipa  $50 \text{ W}$ , é posicionada entre dois sumidouros de calor com dutos por onde é efetuada a circulação forçada de ar. Os sumidouros têm 150 mm de comprimento e possuem 24 passagens retangulares de 6 mm por 25 mm. Ar atmosférico, a uma vazão volumétrica de  $0,060 \text{ m}^3/\text{s}$  e a  $27^\circ\text{C}$ , é soprado através dos sumidouros por um soprador. Estime a temperatura de operação da placa e a queda e pressão ao longo do sumidouro. Resp:  $30^\circ\text{C}$ ;  $156 \text{ N/m}^2$ .



22. (Incropera et al., 6 ed., 8.90) Considere uma região anular entre dois tubos concêntricos na qual os diâmetros interno e externo são de 25 mm e 50 mm. Água entra na região anular a  $0,04 \text{ kg/s}$  e  $25^\circ\text{C}$ . Se a parede do tubo interno é aquecida eletricamente a uma taxa (por unidade de comprimento) de  $q' = 4000 \text{ W/m}$ , enquanto a parede do tubo externo é termicamente isolada, qual deve ser o comprimento dos tubos para que a água atinja uma

temperatura de  $85^{\circ}\text{C}$  na saída? Qual é a temperatura na superfície do tubo interno na saída, onde condições plenamente desenvolvidas podem ser consideradas? Resp: 2,51 m;  $388^{\circ}\text{C}$ .